LE POINT EN RECHERCHE

Décembre 2003 Série technique 03-128

MODÈLES D'ANALYSE HYGROMÉTRIQUE PORTANT SUR LE RATTRAPAGE ÉCONERGÉTIQUE DE L'ENVELOPPE DES BÂTIMENTS

Introduction

La Société canadienne d'hypothèques et de logement (SCHL) appuie les travaux de recherche portant sur la durabilité de l'enveloppe des bâtiments. Les répercussions résultant de l'ajout d'isolant, de pare-vapeur et de pare-air aux assemblages existants sont d'un plus haut intérêt pour la SCHL, car elle tient à s'assurer que les stratégies de rattrapage éconergétique ne nuisent pas à la performance des assemblages améliorés et que les avantages escomptés se réalisent. La SCHL s'est engagée dans l'analyse d'un certain nombre de scénarios de rattrapage éconergétique visant 5 types de murs précis employés dans la construction de collectifs d'habitation et d'immeubles à bureaux. On effectuera le gros de l'analyse à l'aide d'outils de modélisation hygrométrique informatisés, lesquels serviront à caractériser les changements de régime de chaleur, d'air et d'humidité à l'intérieur des murs en fonction des travaux de rattrapage effectués dans différentes régions climatiques du Canada. Cette information servira ensuite pour prédire la possibilité de voir apparaître, au fil des années, des problèmes de durabilité dans les assemblages. La première étape consistait pour la SCHL à commander une étude dont l'objectif était de passer en revue les outils de modélisation hygrométrique informatisés offerts sur le marché qui conviendrait pour l'analyse de la performance des travaux de rattrapage éconergétique de l'enveloppe des bâtiments.

Le présent *Point en recherche* présente un aperçu des évaluations, des critères employés et des résultats des travaux.

Programme

Les travaux de recherche consistaient à examiner et à évaluer les outils de modélisation hygrométriques informatisés offerts sur le marché que l'on pourrait employer pour modéliser les conditions de chaleur, d'air et d'humidité au sein de 5 différents types d'assemblages muraux présélectionnés et d'un certain nombre de possibilités en ce qui a trait à la technique d'isolation employée.

Voici une description des assemblages muraux :

1. Placage de brique sur mur de fond en ossature d'acier :

Il s'agit d'un assemblage composé d'une lame d'air dotée de chantepleures pour l'évacuation de l'eau à sa base (et donc drainé et partiellement ventilé, et comprend une coupure de capillarité). Les options de rattrapage étudiées comprennent la pose de différents genres de revêtements intermédiaires isolants, soit par l'intérieur ou par l'extérieur de l'ossature d'acier. Dans toutes les stratégies de rattrapage éconergétique, on trouve une membrane de polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur sur la paroi intérieure de l'isolant, cette membrane servant de coupe-vapeur.

SCHL CMHC

AU COEUR DE L'HABITATION

Canada

63334

2. Placage de brique sur mur de fonds en maçonnerie creuse :

Ici le placage de brique prend appui sur un mur de fond en blocs de béton creux, et comprend une lame d'air de telle sorte que le mur est partiellement drainé et ventilé. Sont comprises dans les options de rattrapage, différents types d'isolants posés tant à l'intérieur qu'à l'extérieur du mur en blocs de béton. Dans un cas, on a appliqué un enduit élastomère sur la paroi extérieure du mur de blocs de manière à servir de pare-air et de paroi résistant à la pénétration de l'eau.

3. Panneaux préfabriqués en béton isolés sur la paroi intérieure :

Cet assemblage est composé de panneaux préfabriqués en béton sur lesquels on a appliqué une ossature métallique suivie d'un revêtement intérieur de plaques de plâtre. Toutes les stratégies de rattrapage éconergétique comprennent la pose d'une membrane de polyéthylène de 0,15 mm d'épaisseur servant de pare-vapeur sur la partie intérieure de l'isolant.

4. Placage de pierre sur mur de fond en blocs de béton :

Le placage de pierre est ancré au mur de maçonnerie de manière à ménager un vide d'air qui sert de cavité de drainage et de ventilation partielle et muni d'une coupure capillaire. Les options de rattrapage consistent en différents types de revêtements intermédiaires isolants posés soit sur la paroi intérieure ou extérieure de la maçonnerie. On propose une membrane élastomère pour une de ces options.

5. Revêtement extérieur de grès sur mur de fond en brique porteuse (600 mm) :

La paroi intérieure de cet assemblage, revêtue de plâtre sur des tuiles de terre cuite, représente le type de construction patrimoniale que l'on trouve dans les établissements (c'est-à-dire bureaux du gouvernement ou musées). Parmi les options de rattrapage éconergétique, on trouve différents types d'isolants posés sur la paroi intérieure suivis de plaques de plâtre.

Les auteurs ont mené une recherche documentaire et une recherche sur Internet afin de dresser la liste des outils de modélisation hygrométriques informatisés pouvant convenir à une étude éventuelle. La suite des travaux comprenait la mise au point d'une liste de critères d'évaluation pouvant être employés pour évaluer les outils afin de déterminer lesquels conviendraient le mieux pour modéliser les murs et les scénarios de rattrapage éconergétique choisis. Voici la liste des critères :

1. Offerts sur le marché : Les outils doivent être du domaine public ou offerts en vente. Les outils utilisés à l'interne dans un établissement de recherche ou une université ne conviennent pas d'être examinés plus à fond. L'expression « Offert sur le marché » sous-entend également que l'outil se vend à prix raisonnable;
2. Pertinence des outils comparativement aux types de murs et aux travaux de rattrapage éconergétique à l'étude (comme décrit ci-dessus);
3. Dans quelle mesure les outils sont-ils assortis d'algorithmes ayant une transparence complète, et sont-ils relativement récents et peuvent tourner sur un ordinateur personnel (de préférence sur la plate forme Microsoft Windows©);
4. Documentation. Elle devra inclure une description des algorithmes, les limites du programme et les instructions pour bien utiliser le logiciel;
5. Convivialité des outils en fonction d'architectes ou d'ingénieurs raisonnablement bien renseignés;
6. Soutien technique et possibilités de formation;
7. Précision et données matérielles à jour. Tous les outils de modélisation hygrométrique informatisés emploie des données hygrométriques de matériaux variés comme intrant. L'outil étant plus précis que les données d'intrant, un élément clé de l'évaluation de l'outil a trait à la précision des données comprises avec le programme, de même que la facilité avec laquelle l'utilisateur peut ajouter des données pour des matériaux additionnels ou mettre à jour des données déjà comprises dans l'outil.

Résultats

Un total de 45 modèles hygrométriques informatisés ont été recensés, dont la liste figure au tableau 1. Toutefois, on s'est rapidement rendu compte que la plupart de ceux-ci ne répondaient pas au premier critère, puisqu'ils ne sont pas offerts au grand public hors de l'organisme où ils ont été mis au point. En fait, seul les huit modèles hygrométriques informatieés étudiés satisfont ce critère. Les voici :

1. DELPHIN4 est un modèle à deux dimensions axé sur le transport de la chaleur, de l'air, de l'humidité et des sels dans des matériaux poreux. Il a été élaboré à partir de l'ancien programme DIM mis au point à l'université technique de Dresde, en Allemagne. On peut télécharger sans frais un programme-pilote valide pour 30 jours.

2. Le programme unidimensionnel EMPTIED modélise le transport de la chaleur et de l'humidité, de même que certaines considérations à l'égard des fuites d'air. On peut l'obtenir sans frais auprès de la Société canadienne d'hypothèques et de logement.
3. GLASTA est un modèle unidimensionnel pour le transport de la chaleur et de l'humidité. Il est fondé sur la méthode Glaser, mais comprend un modèle pour la distribution capillaire au sein des couches de l'assemblage, et pourrait convenir à l'évaluation du potentiel d'assèchement. Il est disponible auprès d'une entreprise belge nommée Physibel Building Physics Software.
4. MATCH consiste en un modèle unidimensionnel pour le transport de la chaleur et de l'humidité. Le Dr Carsten Rode a mis au point le programme tournant sous DOS à l'Université technique du Danemark. La version DOS est disponible auprès de Bygge-og Miljoteknik, un fournisseur danois de matériaux isolants. On peut obtenir une version tournant sous Windows© de Rockwool A/S, en danois seulement. Bien que le distributeur indique qu'une version anglaise MS-Windows© est maintenant disponible, celle-ci n'était pas offerte au moment de l'examen.
5. MOIST est un modèle unidimensionnel pour le transport de la chaleur et de l'humidité. Il a été mis au pont au « National Institute for Standards and Testing » aux États-Unis, et on peut le télécharger sans frais du site Web. Le programme modélise le transport d'humidité par écoulement diffus et capillaire, et le flux d'air, en incluant des cavités qui peuvent être liées à l'air intérieur et extérieur.
6. 1D-HAM, un modèle unidimensionnel qui emploi une solution en différences finies servant à l'analyse du transport de la chaleur, de l'air et de l'humidité dans un mur poreux multicouche. Le modèle de transport de l'humidité tient compte de la diffusion et de la convection de la vapeur d'eau, mais non de l'eau sous forme liquide. Le transfert de chaleur se produit par conduction, convection et effets de chaleur latente.
7. UMIDUS modélise le transport de la chaleur couplée et de l'humidité dans des milieux poreux. Puisque les régimes diffus et capillaires y sont modélisés, le transport de l'humidité se produit dans ses phases liquide et gazeuse. On peut télécharger le programme sans frais, mais il ne comprend que les données climatiques du Brésil.
8. Le WUFI a été conçu pour calculer le transport unidimensionnel d'humidité et de chaleur couplée. Le transfert de chaleur s'opère par conduction, par flux d'enthalpie (y compris le changement de phase), la radiation solaire à ondes courtes et le refroidissement par radiation à grande longueur d'onde (la nuit). Le transfert de chaleur par convection et le transfert de masse ne sont pas modélisés. Le transport par phase gazeuse s'effectue par diffusion de la vapeur et par diffusion de liquide, le transport par phase liquide se faisant par diffusion capillaire et superficielle.

De tous les modèles susmentionnés, quatre sont considérés inappropriés pour les murs à l'étude (c'est-à-dire qu'ils ne répondent pas au deuxième critère). En outre, un des modèles restants a du être laissé de côté car les données climatiques pour l'Amérique du Nord n'étaient pas disponibles et il s'est avéré impossible de les générer.

Les trois programmes restants sont MATCH (du Danemark), MOIST (provenant des États-Unis) et WUFI (de l'Allemagne). Chacun de ces programmes comporte des forces particulières, tandis que MOIST ne semble pas être en développement courant, et on ne fournit plus de soutien technique.

La version du programme MATCH disponible pour étude semble modéliser convenablement le comportement hygrométrique dont il est question ici. La nouvelle version pourrait fournir des caractéristiques additionnelles intéressantes, mais l'inconvénient majeur de la version existante tient au manque de données climatiques pertinentes. Il est toutefois possible de générer des données climatiques MATCH pour n'importe laquelle localité à partir de fichier textes de données météorologiques. Les chercheurs ont recommandé de poursuivre la recherche en effectuant au moins une ronde préliminaire de simulations à l'aide de la version existante de MATCH. Si l'équipe de recherche qui entreprendra les travaux de modélisation subséquents trouve l'outil adéquat, elle pourra alors obtenir la nouvelle version tournant sur la plate-forme MS-Windows©.

Le programme WUFI semble également convenir au projet de recherche future de modélisation. Bien que certains aspects du programme gagneraient à être révisés, (en raison des limites de la version de démonstration), l'outil WUFI présente une interface simple et efficace, semble modéliser la plupart des mécanismes de transport de chaleur et d'humidité à l'étude et est connu par la plupart des chercheurs.

Ainsi, on recommande soit le MATCH ou le WUFI pour la prochaine étape de la recherche. Certains travaux supplémentaires devront être effectués afin d'obtenir des données sur les propriétés de certains matériaux qui seront employés dans la recherche, mais qui ne sont pas compris dans la base de données des matériaux pour le logiciel.

Tableau I : Modèles hygrothermiques évalués

Programme	Modèle et type	Organisme d'origine	Adresse Internet de l'organisme
WAND	1D Chaleur/Humidité	Université catholique de Louvain, Belgique	http://www.kuleuven.ac.be/english/
KONVEK	3D Chaleur/Air/Humidité		
NATKON	2D Chaleur/Air		
HYGRAN24	1D Chaleur/Air/Humidité		
HAM	1D Chaleur/Air/Humidité		
HMSOLVER	2D Chaleur/Humidité		
GLASTA	1D Chaleur/Humidité	Physibel, Maldegem, Belgique	http://www.physibel.be/prodserv.html
HAMPI	1D Chaleur/Humidité	Université la Saskatchewan, Canada	http://www.engr.usask.ca/
WALLDRY	1D Chaleur/Air/Humidité	Société canadienne d'hypothèques et de logement, Canada	http://www.cmhc.ca or http://www.cmhc-schl.gc.ca/publications/en/rh-pr/tech/1999-123e.html
WALLFEM	1D Chaleur/Air/Humidité		
EMPTIED	1D Chaleur/Air/Humidité		
LATENITE	2D Chaleur/Humidité	Conseil national de recherches, Canada	http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/irccontents.html
MATCH	1D Chaleur/Humidité	TU Thermal Insulation Laboratory et Bygge-og Miljoteknik, Danemark	http://www.byg.dtu.dk/ or www.match-box.dk
TRATMO2	2D Chaleur/Air/Humidité	VTT (Centre de recherche technique) de la Finlande	http://www.vtt.fi/indexe.htm
TCCC2D	2D Chaleur/Air/Humidité		
LTMB	1D Chaleur/Humidité	INSA (Institut national des sciences appliquées), Lyon, France	http://www.insa-lyon.fr/
CHEoH	2D Chaleur/Humidité	IMF(Institut de mécanique des fluides), Toulouse, France	http://www.imft.fr/
TONY	2D Chaleur/Humidité		
V30	1D Chaleur/Humidité	CSTB (Centre scientifique et technique du bâtiment), France	http://www.cstb.fr/
V320	2D Chaleur/Humidité		
WFTK	1D Chaleur/Humidité	Fraunhofer Institute for Building Physics (IBP), Holzkirchen, Allemagne	http://www.hoki.ibp.fhg.de/
WUFI-Z	2D Chaleur/Humidité		
JOKE	1D Chaleur/Humidité	FH (Université des sciences appliquées) Lausitz, Allemagne	http://www.fh-lausitz.de/
COND	1D Chaleur/Humidité	TU-Dresden/FH - Lausitz	http://www.tu-dresden.de/homepagejb.htm
DIM 2.5	2D Chaleur/Air/Humidité	TU (Université technique) de Dresden, Allemagne	
DELPHIN4	2DChaleur/Air/Humidité/Sels		
HYGTHERAN	1D Chaleur/Humidité	NBRI Israël	http://www.technion.ac.il/~nbri/
HYGRO	1D Chaleur/Humidité	TNO Building and Construction Research, Delft, Pays-Bas	http://www.bouw.tno.nl/homepage.html
WISH-3D	3D Chaleur/Air		
HORSTEN	2D Chaleur/Air/Humidité		
P1200A	1D Chaleur/Humidité	SP (Swedish National Testing and Research Institute), Borås, Swède	http://www.sp.se/eng/default.htm
VADAU	2D Chaleur/Humidité	Chalmers Technical University, Gothenburg, Suède et Université de Lund, Swède ey Blocon exploitant sous le nom, buildingphysics.com in Lund, Swède et à Reading, MA É.-U.	http://www.chalmers.se/Home-E.html or http://www.buildingphysics.com/1d-ham.htm or http://www.byfy.lth.se/Berakningsgruppen/Berakn.htm
1D-HAM	1D Chaleur/Air/Humidité		
AHCONP, ANHCONP	2D Chaleur/Air		
JAM1	1D Humidité		
JAM2	2D Humidité		
FUNKT 74:6	1D Chaleur/Humidité	Gullfiber AB (maintenant Saint-Gobain Isover), Billesholm, Swède	http://www.gullfiber.se/
NEV 3	1D Chaleur/Humidité	Académie des sciences de Slovaquie, Bratislava, Slovaquie	http://www.ustarch.sav.sk/Dpt/Phys/Therm/therm.html
BRECON 2	1D Chaleur/Humidité	Building Research Establishment, East Kilbride, Écosse	http://www.bre.co.uk/
MOIST	1D Chaleur/Humidité	National Institute for Standards and Testing, Gaithersburg, MD É.-U.	http://www.bfrl.nist.gov/info/software.html
FSEC	3D Chaleur/Air/Humidité/ Contaminants	Florida Solar Energy Centre, Cocoa, FL, É.-U.	http://www.fsec.ucf.edu/
UMIDUS	1D Chaleur/Humidité	Université catholique pontificale de Parana, Curitiba, Brésil	http://www.pucpr.br/pesquisa/lst/
WUFI/ORNL	1D Chaleur/Humidité	Fraunhofer IBP / Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN, É.-U.	http://www.ornl.gov/btc/moisture
MOISTURE-EXPERT	2D Chaleur/Humidité	Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge TN, É.-U.	http://www.ornl.gov/btc

Notes : [a]Sources : Hens (1996), Straube et Burnett (2000), Crowther et coll. (2000), recherche Internet

Parmi ces matériaux on trouve les plaques de plâtres pour usage extérieur, les membranes élastomères, les blocs de béton creux et les tuiles de terre cuite. Comme il est mentionné ci-dessus, les données météorologiques de MATCH devront aussi être générées, si des données appropriées ne sont pas comprises dans la version Windows©.

Conséquences pour le secteur de l'habitation

Malgré le fait que ces travaux aient été entrepris en soutien d'une initiative de recherche plus large de modéliser les travaux de rattrapage éconergétique d'assemblages de mur, les travaux ont soulevé bon nombre d'autres questions susceptibles d'intéresser les intervenants du secteur de l'habitation. Par exemple, bien que de nombreux modèles de simulation hygrométrique informatisés soient disponibles pour effectuer des analyses de la performance de l'enveloppe de bâtiments, peu de modèles sont accessibles ou utilisables par les membres de la communauté d'ingénieurs et d'architectes en appui à leur travail de conception. La recherche met également en lumière la nécessité d'exercer de prudence lors de la sélection des outils de modélisation hygrométrique destinés à l'analyse de l'enveloppe des bâtiments, car ce ne sont pas tous les outils de modélisation qui sont appropriés pour tous les genres d'enveloppe et toutes les localités. De tels modèles peuvent bien produire des résultats, mais la validité des résultats dépendra des intrants, des algorithmes employés pour prédire les régimes de chaleur, d'air et d'humidité, de la disponibilité de données fiables sur les matériaux et la météorologie et de la capacité de l'utilisateur à interpréter les résultats.

Directeur de projet : Duncan Hill

Rapport de recherche : *Review of Hygrothermal Models for Building Envelope Retrofit Analysis*

Consultants pour le projet de recherche : Alex McGowan, P. Eng, Levelton Engineering Ltd.

Recherche sur le logement à la SCHL

Aux termes de la partie IX de la *Loi nationale sur l'habitation*, le gouvernement du Canada verse des fonds à la SCHL afin de lui permettre de faire de la recherche sur les aspects socio-économiques et techniques du logement et des domaines connexes, et d'en publier et d'en diffuser les résultats.

Le présent feuillet documentaire fait partie d'une série visant à vous informer sur la nature et la portée du programme de recherche de la SCHL.

Pour consulter d'autres feuillets *Le Point en recherche* et pour prendre connaissance d'un large éventail de produits d'information, visitez notre site Web à

www.schl.ca

ou communiquez avec la

Société canadienne d'hypothèques et de logement
700, chemin de Montréal
Ottawa (Ontario)
K1A 0P7

Téléphone : 1 800 668-2642
Télécopieur : 1 800 245-9274

NOTRE ADRESSE SUR LE WEB : www.schl.ca

Bien que ce produit d'information se fonde sur les connaissances actuelles des experts en habitation, il n'a pour but que d'offrir des renseignements d'ordre général. Les lecteurs assument la responsabilité des mesures ou décisions prises sur la foi des renseignements contenus dans le présent ouvrage. Il revient aux lecteurs de consulter les ressources documentaires pertinentes et les spécialistes du domaine concerné afin de déterminer si, dans leur cas, les renseignements, les matériaux et les techniques sont sécuritaires et conviennent à leurs besoins. La SCHL se dégage de toute responsabilité relativement aux conséquences résultant de l'utilisation des renseignements, des matériaux et des techniques contenus dans le présent ouvrage.

61170